

CEEシンポジウム これからの電力需給の解析・評価を考える

再生可能エネルギーと電力ネットワーク

2016.8.9

横浜国立大学大学院工学研究院
大山 力





再生可能エネルギー電源

自然エネルギーなので...

: 環境にやさしい

: 純国産エネルギー

: 低密度

容量の小さい発電システムが多数導入
配電線、低電圧送電線への連系
(コストをかけずに対応可能か?)

: 出力変動

供給力としてどれだけあてにできるか
大量導入時の需給バランス

配電線への大量連系

低圧多数導入への対応

電力の逆流

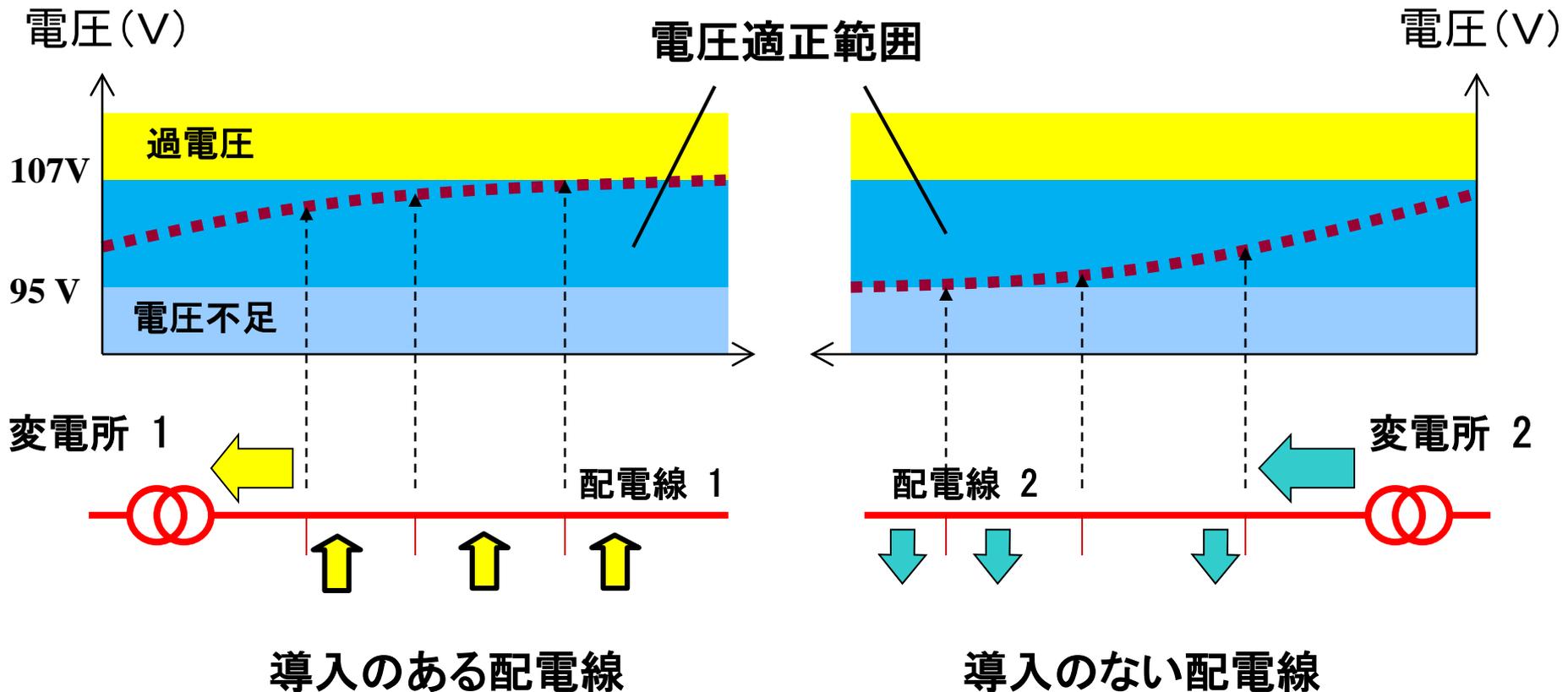
配電線電圧分布

単独運転防止

FRT (Fault Ride Through)

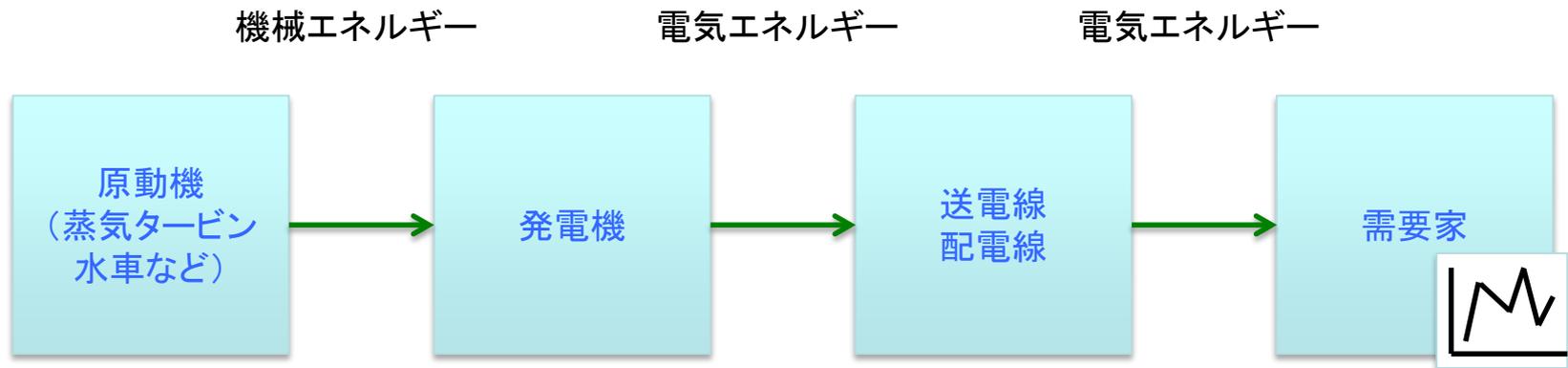
配電線電圧分布

分散電源の導入のある配電線と 導入のない配電線の電圧の比較



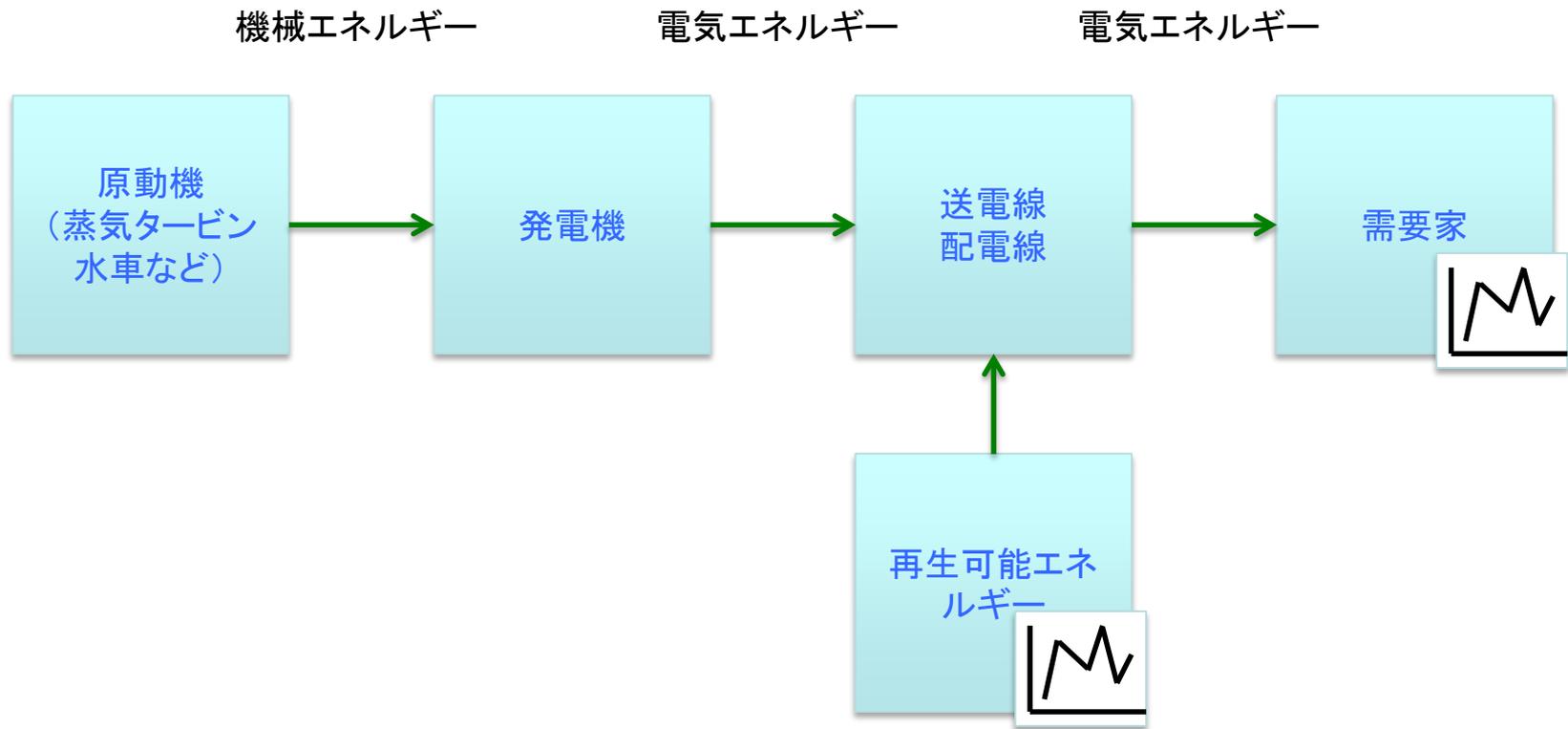
再生可能エネルギー発電大量導入時の周波数問題

電力システム内のエネルギーの流れ



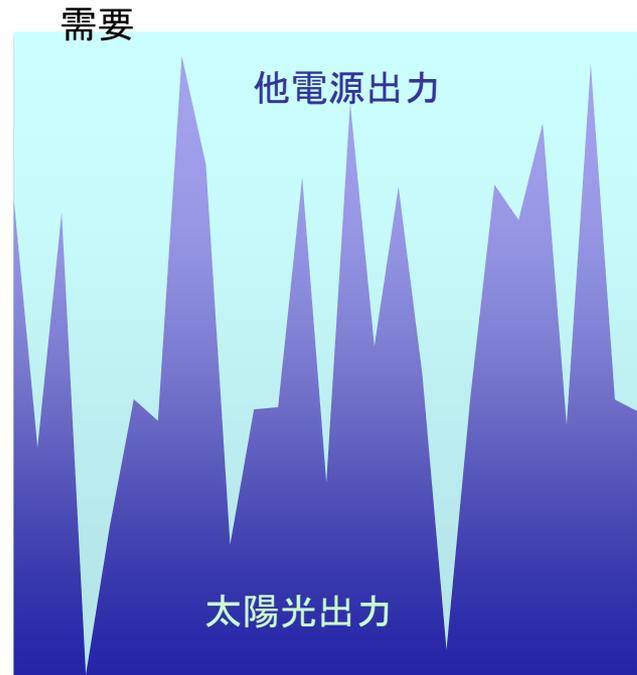
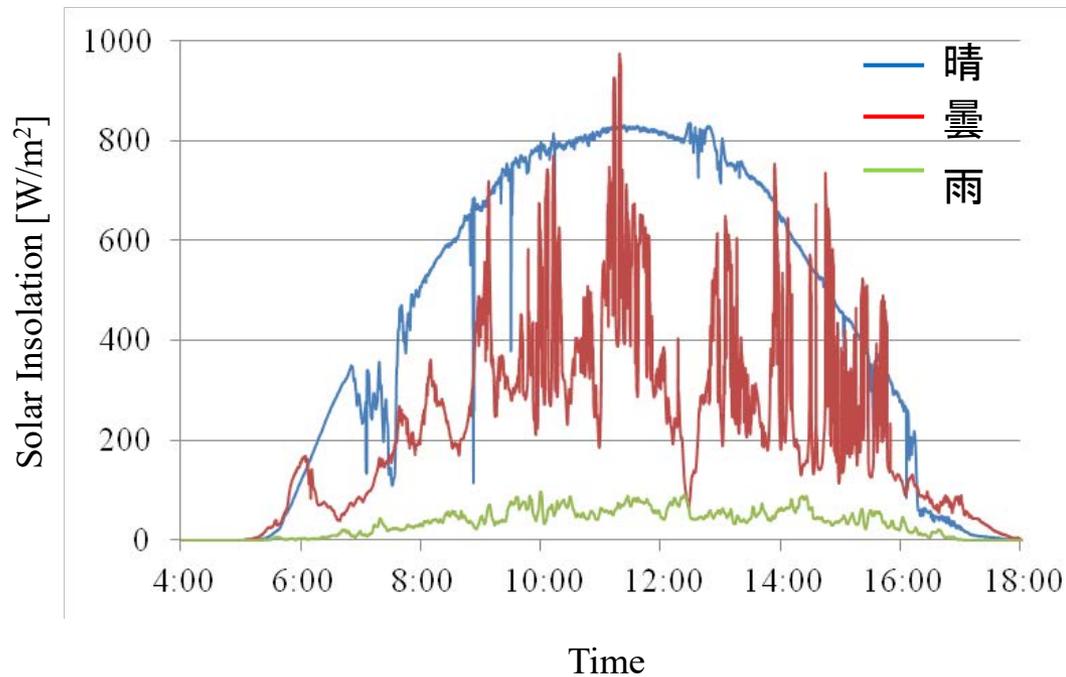
電気エネルギーは貯められない(貯めるのが難しい)ので、需要家が使う量を常に作らなければならない
しかし、原動機出力を追従させることは難しい
原動機出力と需要家が消費する電力の差は発電機の回転エネルギーでまかなう(周波数変動)

電力システム内のエネルギーの流れ



太陽光や風力などの再生可能エネルギー電源が導入されると変動はより大きくなる

太陽光発電の出力変動



「ダンスパートナー」が必要
CIGRE IEEE PES 2009 Calgary

再生可能エネルギー電源のダンスパートナーは誰か？

水力で調整可能なら良いが、火力に頼らざるを得ない？

火力の調整力を増加

火力の発電量を全体として増加

中間負荷運転→効率低下

→CO₂排出

(原子力に頼らないとすればこれが現実的か)

蓄電池をパートナーに

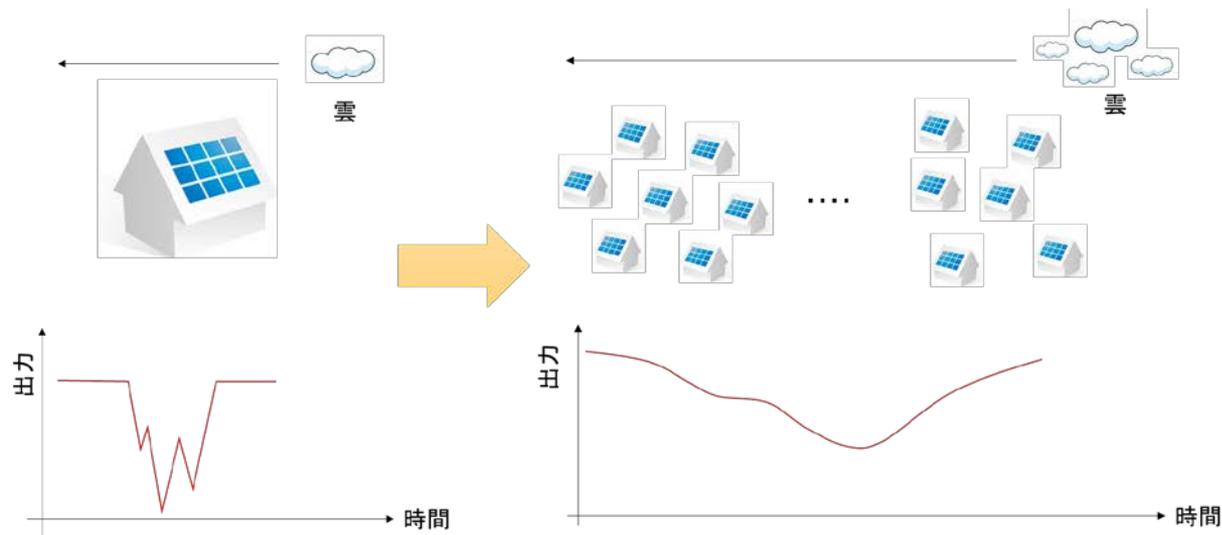
蓄電池は高コスト

ならし効果（広く分布した太陽電池の出力変動が互いに打ち消し合う効果）があればダンスパートナーは楽になる

ならし効果について

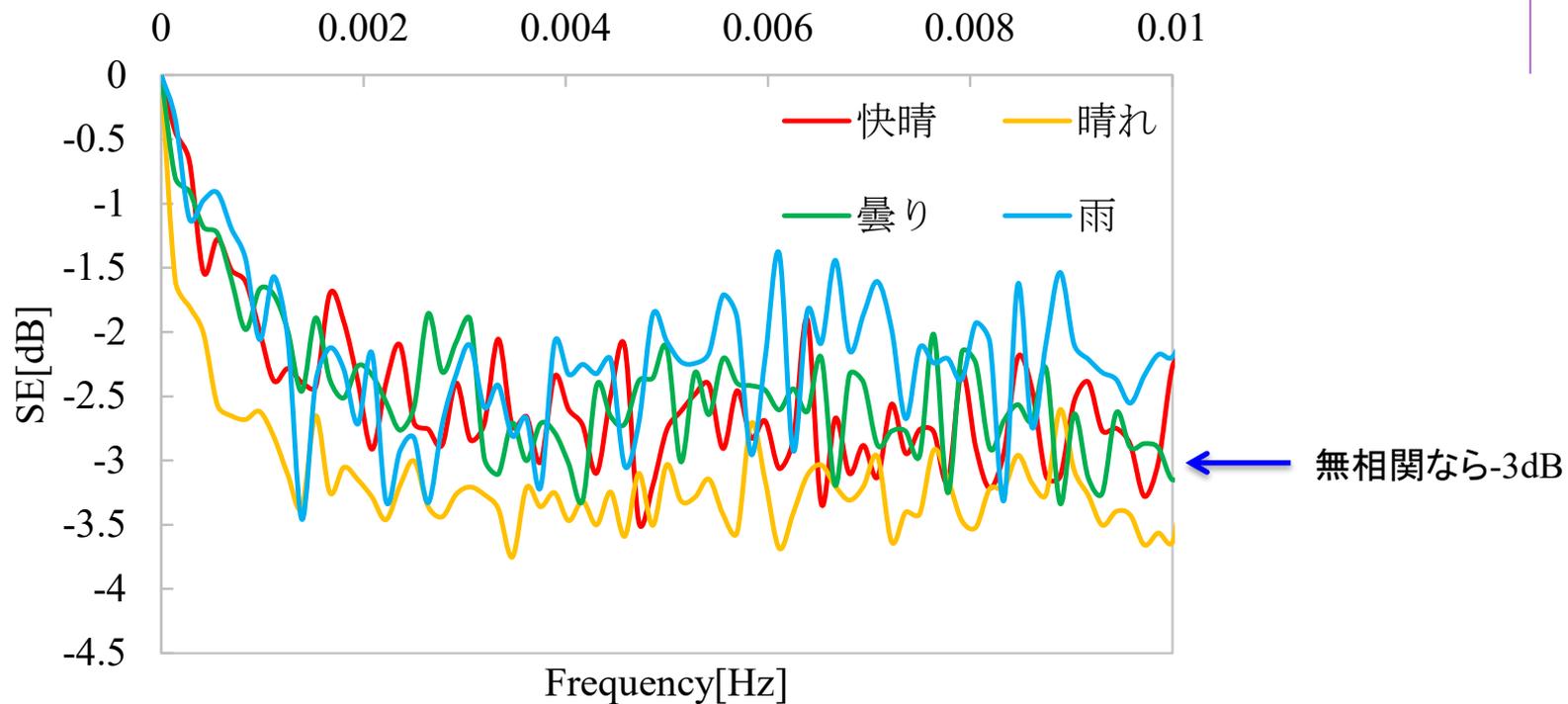
ならし効果

PV出力の短周期変動は主に時間的に移動する雲によって引き起こされる
 広い範囲で分散的に設置されることで、出力変動に時間的なずれが生じ出力を平均すると変動は抑制されると考えられる



天候ごとのFFT分析の評価

評価期間: 2010年10月1日 ~ 2011年9月31日



晴れ(雲量2-8)のならし効果が強い

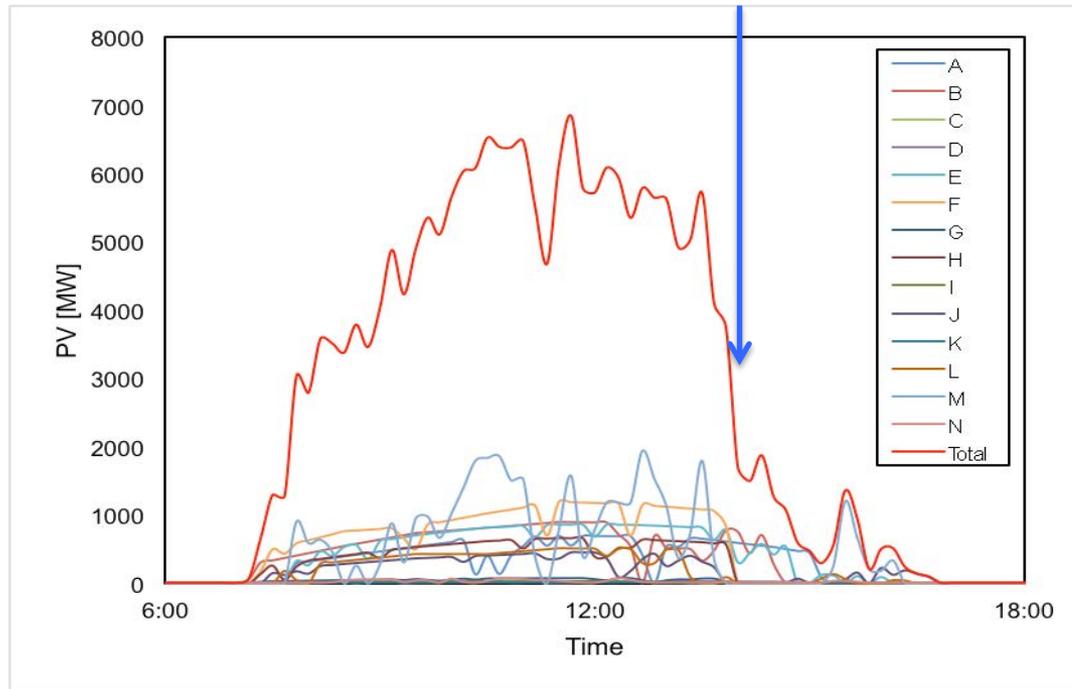
多数の太陽光発電設備が設置された場合は「ならし効果」にかなり期待できる。

疑問は、「**本当にいつでも期待して良いのか？**」

ある日の各地の日射と総量(60Hz地域)



全体として出力急変



注: 10分毎の日照時間(AMeDASデータ)から日射量を推定したもの

→ このような状況のときに周波数がどうなるかを調べたい

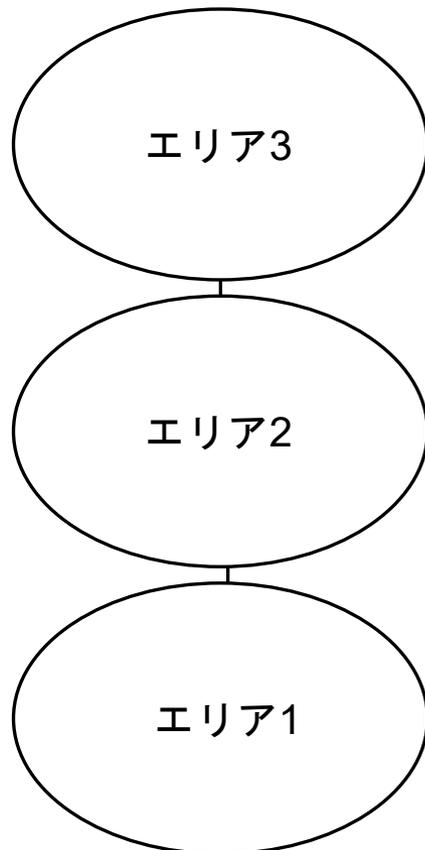
辻井、辻、大山、中地、Verma、“再生可能エネルギー増加時における需給制御の影響把握”、電学論B Vol.136 No.1 pp. 33-43、2016年1月

辻井、辻、大山、中地、Verma、“再生可能エネルギー増加時における需給制御の対策評価方法に関する一考察”、電学論B Vol.136 No.5 pp. 459-470、2016年5月

シミュレーション条件

WEST30機モデル

- 147機に細分化
- 串状の3つのエリアに分割



データ取得期間

- 2012年7月2日～2013年7月1日の**1年間**
- 実測データに基づき**10分ごと**のデータを作成

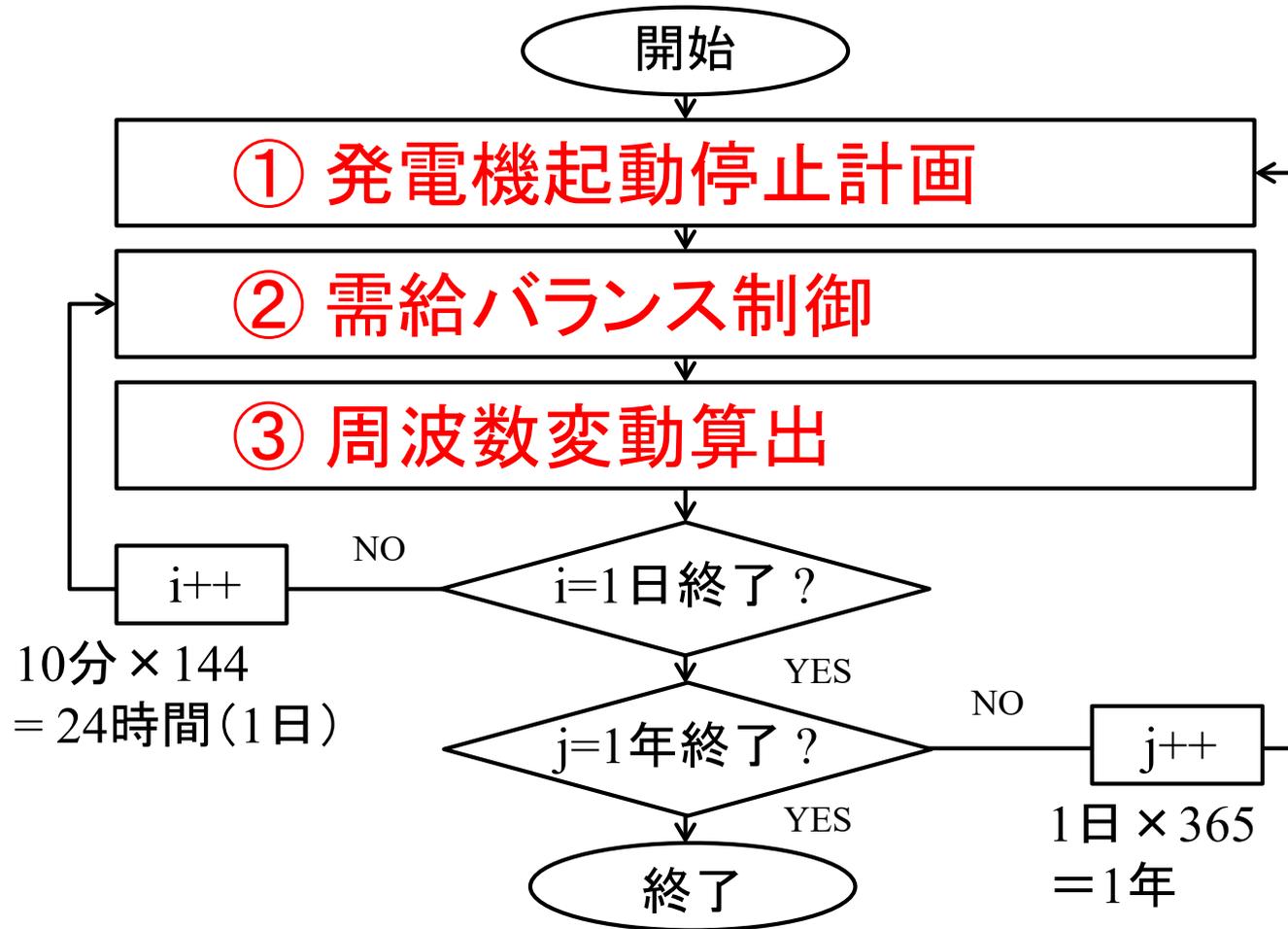
分散電源導入量

- **2030年度最大導入ケース**(経産省)

- **太陽光発電出力** 各ノード該当地域より得た日射量, 日照時間を参考にデータを作成
- **風力発電出力** 各ノード該当地域より得た風速を参考にデータを作成
- **負荷** 各電力会社の需要実績の値を参考にデータを作成

	エリア1[MW]	エリア2 [MW]	エリア3 [MW]
太陽光	8,970	8,460	11,210
風力	87	450	712
最大負荷	24,780	31,700	30,372
最小負荷	9,090	13,909	14,763

需給制御モデル



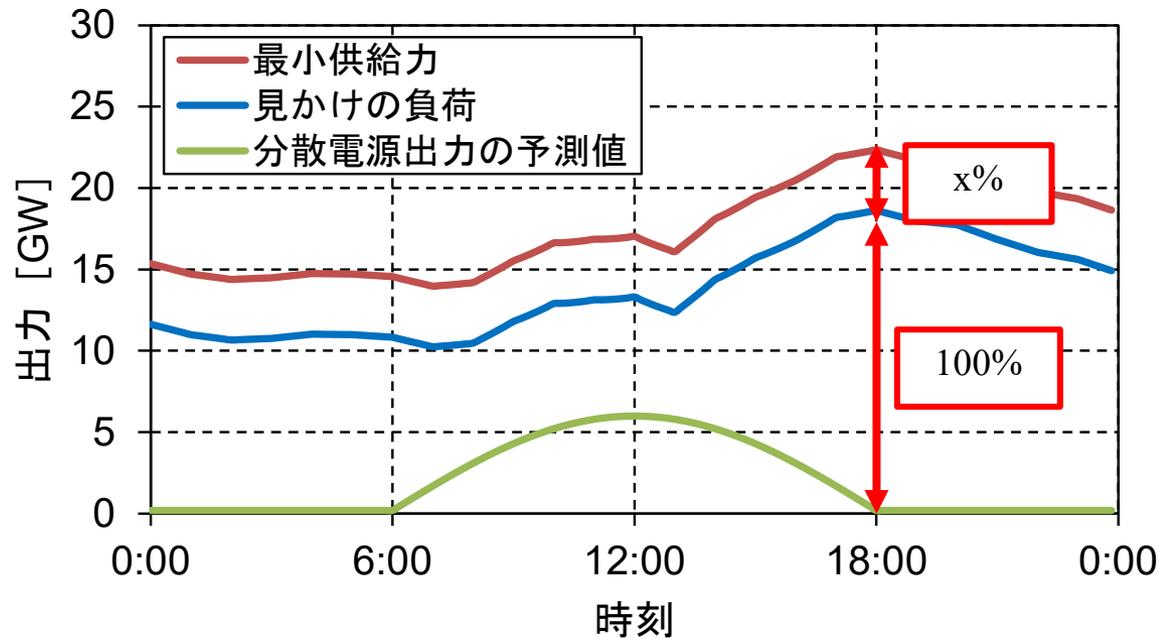
周波数変動計算フローチャート

① 発電機起動停止計画

前日の段階で発電機の起動停止計画を行う。供給力および発電コストを考慮して発電機を起動停止

制御フロー

- ① 負荷から分散電源の出力予測値を差し引いた見かけの負荷を算出
- ② 見かけの負荷における最大負荷に対して、一定以上の供給予備力を常時確保するように発電機を燃料費の安い順に起動し、高い順に停止(燃料費関数は1次関数)



① 発電機起動停止計画

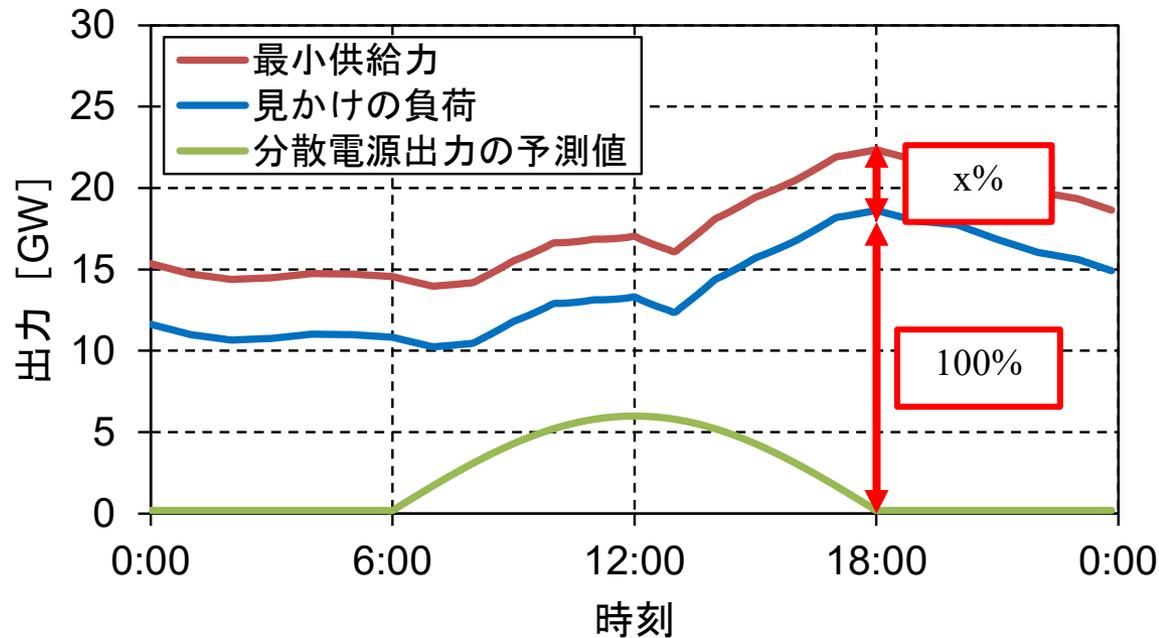
前日の段階で発電機の起動停止を考慮して発電機を起動停止

出力予測値は、日射量総量がほぼ一致するようにsinカーブで与えている
(細かい変動は予測できないものとしている)

コストを考

制御フロー

- ① 負荷から分散電源の出力予測値を差し引いた見かけの負荷を算出
- ② 見かけの負荷における最大負荷に対して、一定以上の供給予備力を常時確保するように発電機を燃料費の安い順に起動し、高い順に停止(燃料費関数は1次関数)



② 需給バランス制御

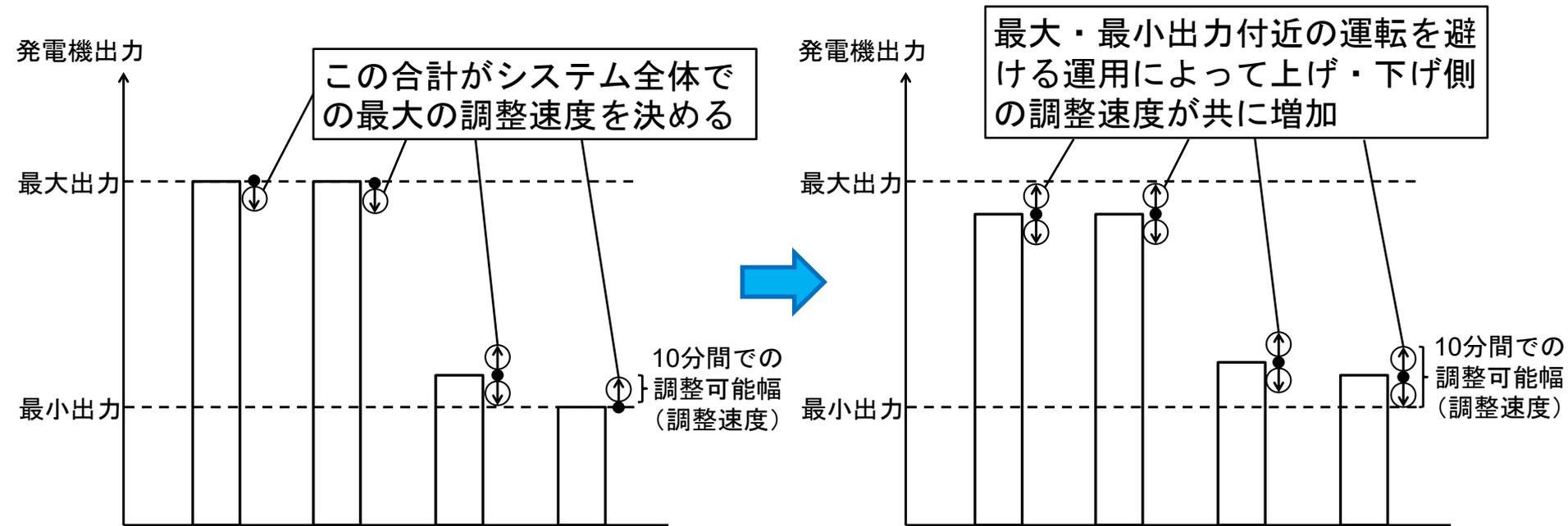


負荷曲線から太陽光発電および風力発電の出力を差し引いた見かけ上の負荷に対して、起動している揚水発電機・火力発電機による出力を追従するように制御

制御フロー

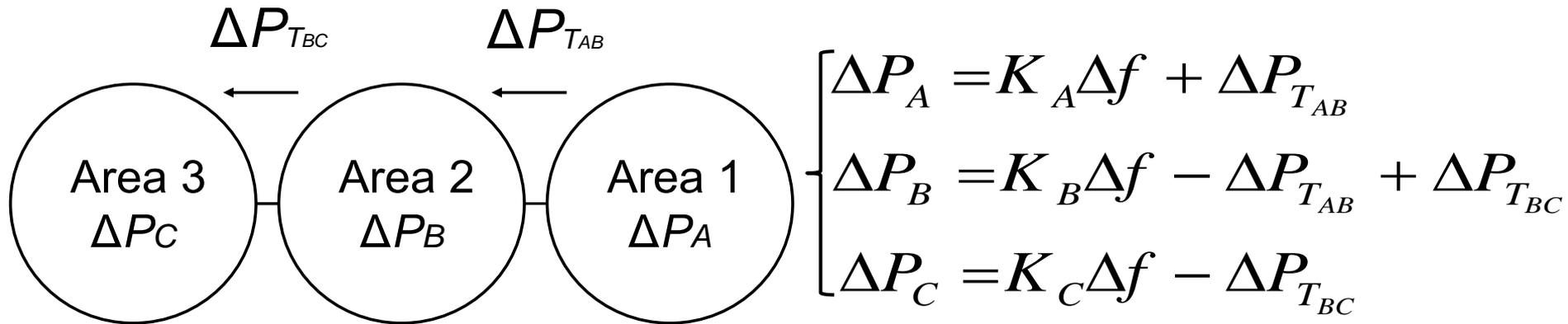
- ① 現在時刻の需給インバランス(ACE(=供給-需要))が負の値の場合、出力の制約範囲内で、燃料費の安い順に出力を振り分ける。
- ② ACEが正の値の場合は、燃料費の高い順に出力を絞る。
- ③ 最終的な需給インバランス量が決定する(この時点で各発電機の出力は未確定)。
- ④ 上げ側の10分間運転予備力の目標値を決定し、速度・容量制約内で可能な限り確保する。
- ⑤ 下げ側の10分間運転予備力の目標値を決定し、速度・容量制約内で可能な限り確保する。

10分間運転予備力の変更イメージ



③ 周波数変動算出

制約条件により各エリアで生じた需給インバランスより周波数を計算

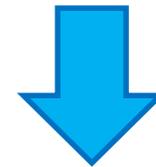


$\Delta P_A, \Delta P_B, \Delta P_C$: 需給インバランス (ACE) [MW]
(既知)

K_A, K_B, K_C : 系統定数 [10%MW/Hz]

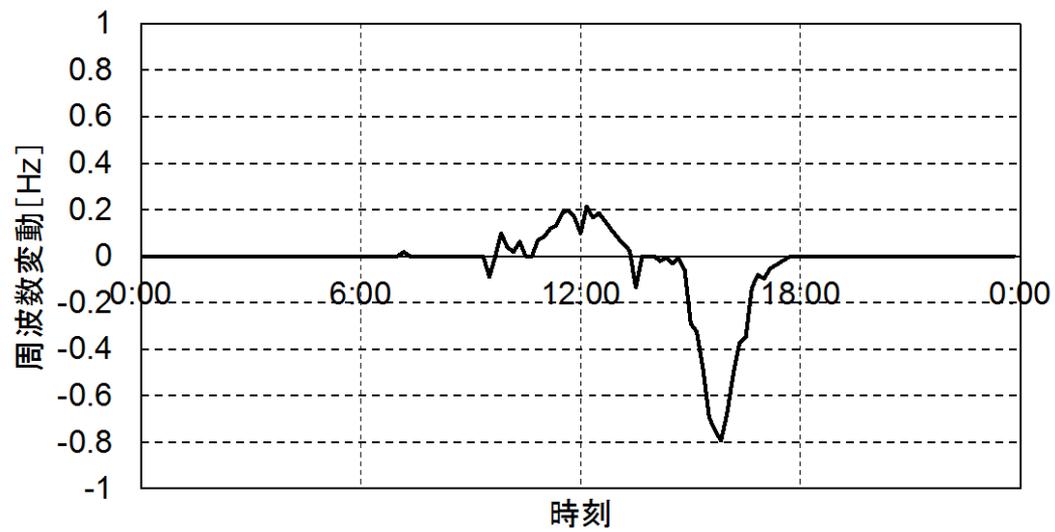
Δf : 周波数変動 [Hz]

$\Delta P_{TAB}, \Delta P_{TBC}$: 連系線潮流変動 [MW]



$$\Delta f = \frac{\Delta P_A + \Delta P_B + \Delta P_C}{K_A + K_B + K_C}$$

過酷日の周波数変動解析結果



シミュレーション結果の評価

- 影響評価指標
- 供給予備力毎の影響評価
- 10分間運転予備力毎の影響評価
- 供給予備力と10分間運転予備力の評価

影響評価指標



周波数変動についての影響評価指標は以下の通り設定

- 周波数変動発生日数 0.2Hz
 - $|\pm 0.2\text{Hz}|$ より大きい変動が生じる日数
- 周波数変動違反発生日数
 - $\pm 0.1\text{Hz}$ 以内に周波数が95%収まらない日数

参考:周波数変動管理目標値

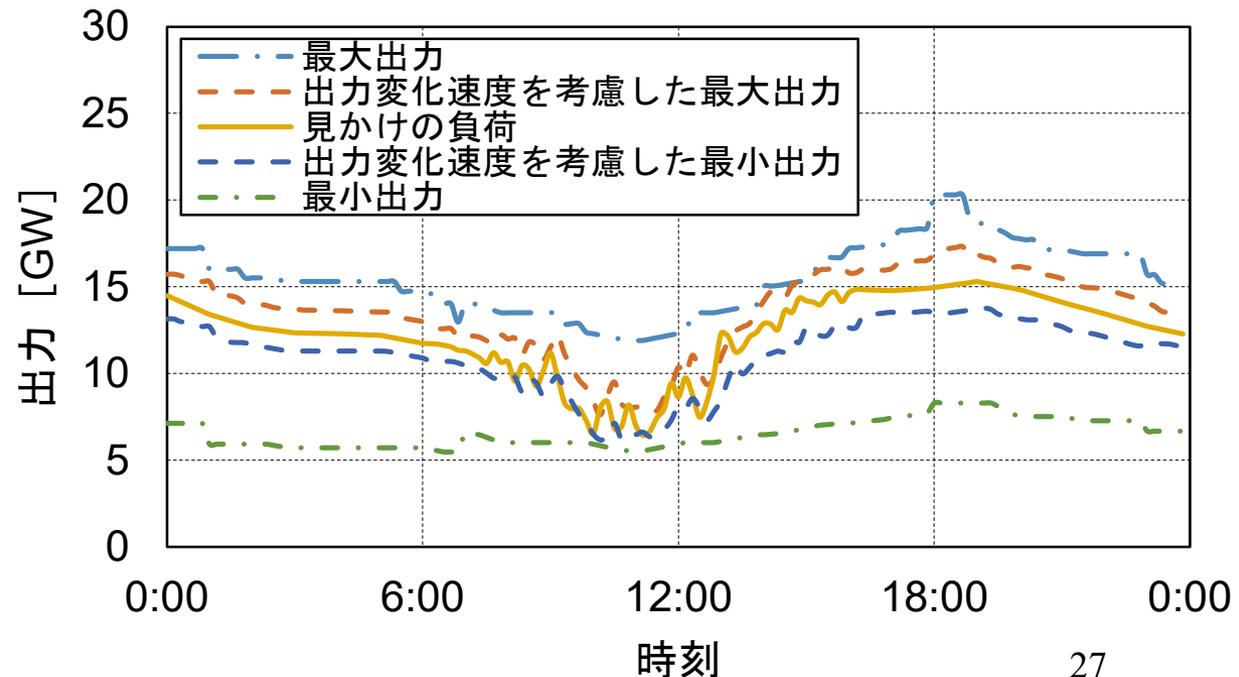
地域	管理目標値 [Hz]
北海道	± 0.3
東日本	± 0.2
西日本	± 0.2 (± 0.1 , 滞在率95%以上)
沖縄	± 0.3

影響評価指標

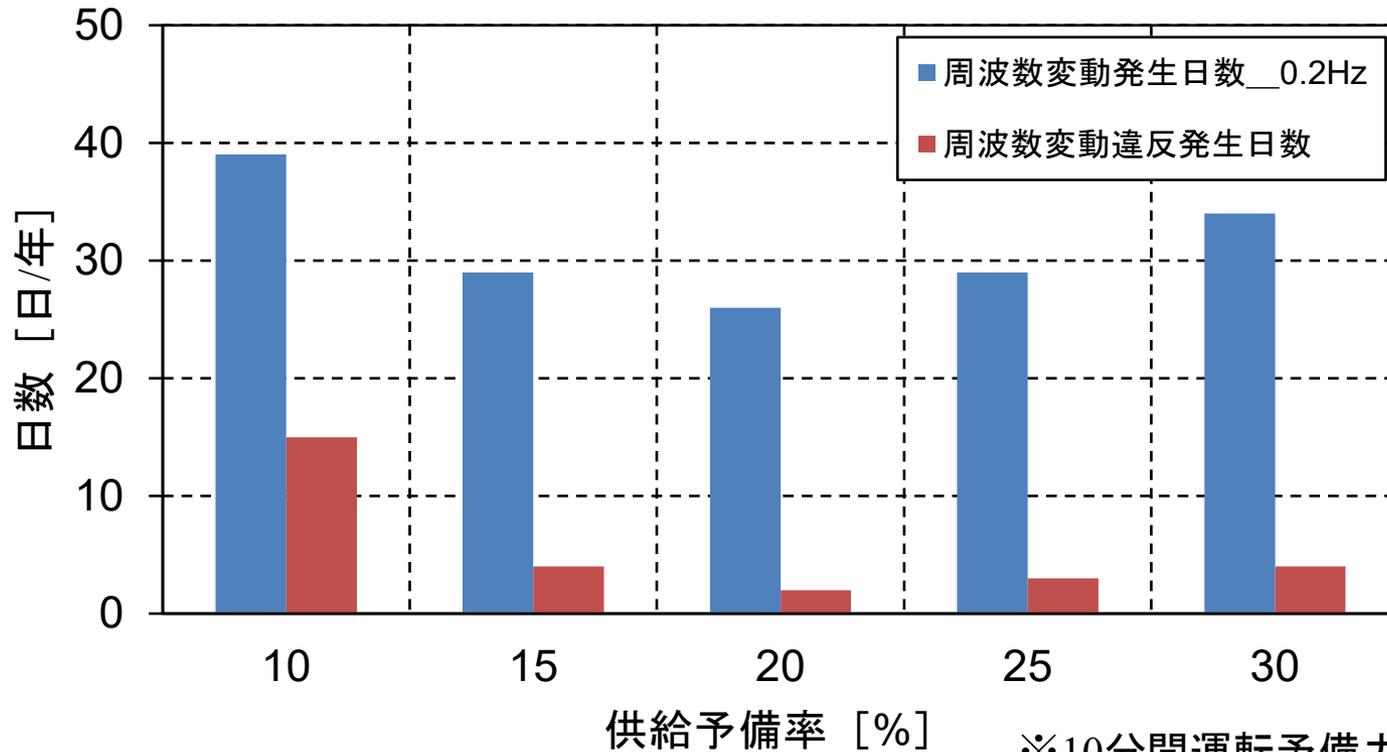
需給インバランスの原因についての影響評価指標は以下の通り設定

- 下げ代不足[%]
 - 見かけの負荷 < 最小出力
- 下げ出力変化速度不足[%]
 - 最小出力 \leq 見かけの負荷 < 出力変化速度を考慮した最小出力
- 上げ出力変化速度不足[%]
 - 出力変化速度を考慮した最大出力 < 見かけの負荷 \leq 最大出力
- 上げ代不足[%]
 - 見かけの負荷 > 最大出力

※ 負荷が小さく需給調整の条件が厳しいエリア1のみ調査

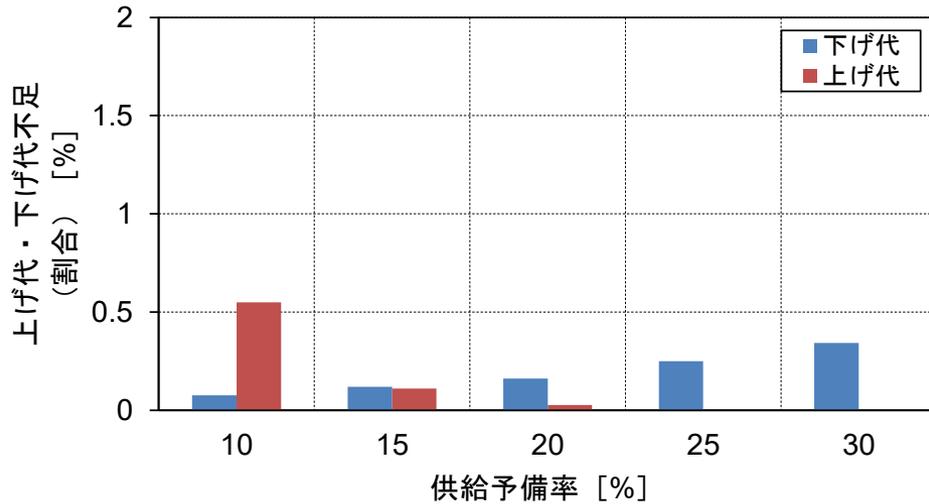


供給予備力毎の周波数変動の影響

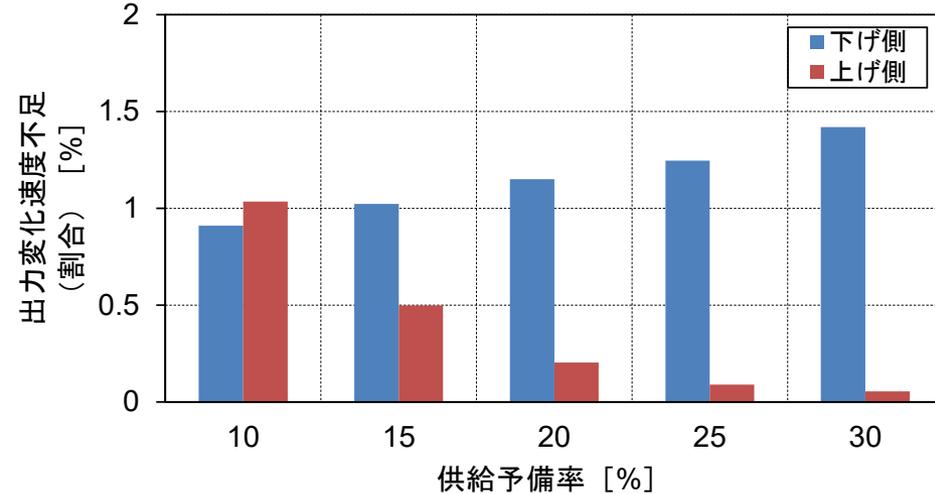


- 予備率を10%から20%まで上げるにしたがって、各日数を抑制
- さらに25%, 30%と増加させると日数が増加

供給予備力毎の需給インバランスの原因



エリア1の上げ代・下げ代不足の割合

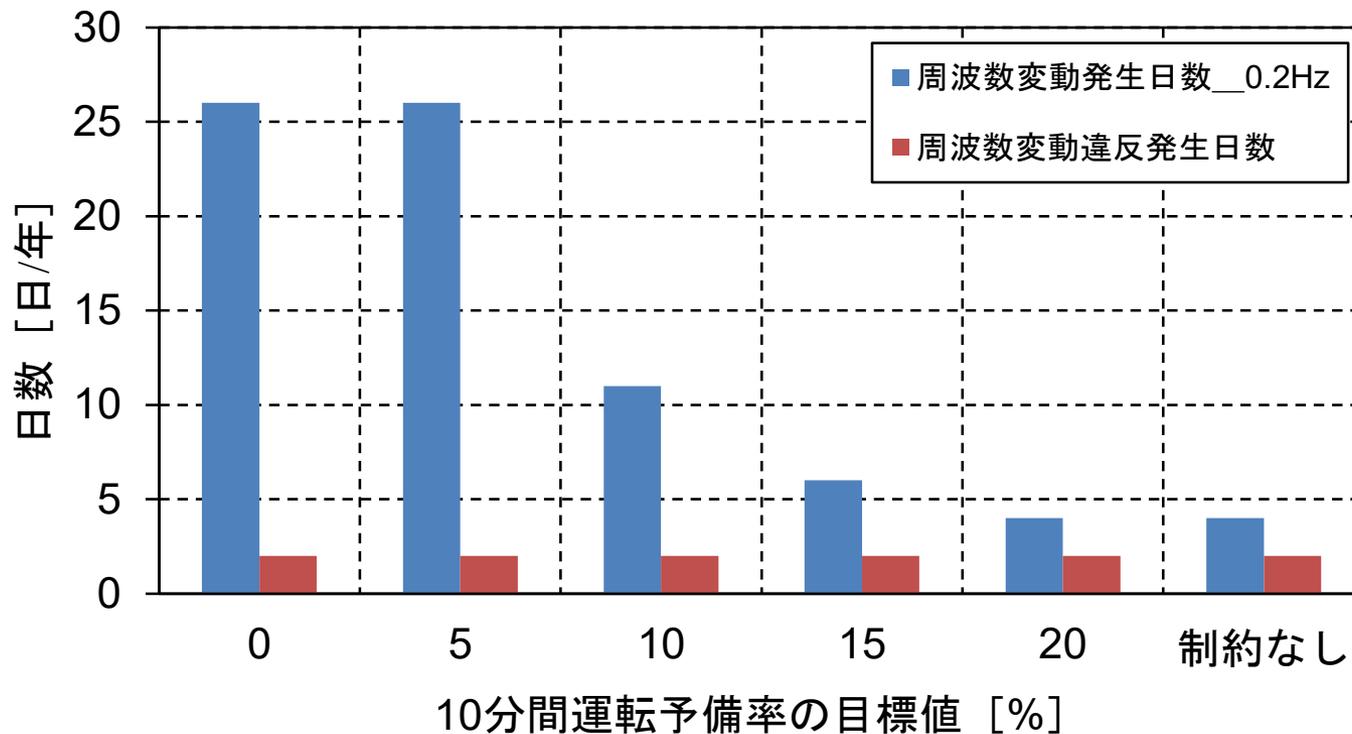


エリア1の出力変化速度不足の割合

※10分間運転予備力の確保なし

- 予備率10%の場合, 上げ代不足が多く起こる。さらに予備率を増加させると上げ代不足は減少するが, 既存電源の起動台数が増えることで最小出力が増加し下げ代不足が発生
- 出力変化速度不足も上げ代・下げ代不足と同様に, 予備率が小さいと上げ側が不足, 予備率が大きいと下げ側が不足

10分間運転予備力毎の周波数変動の影響

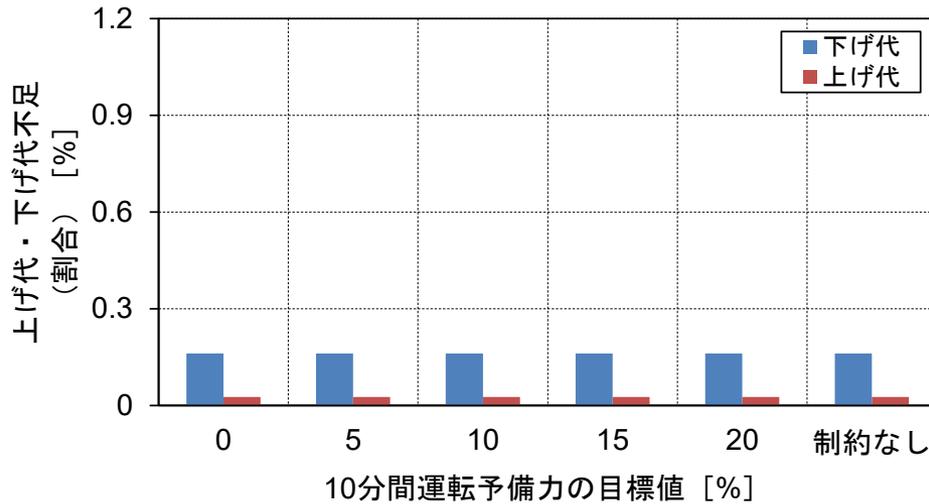


※供給予備率20%

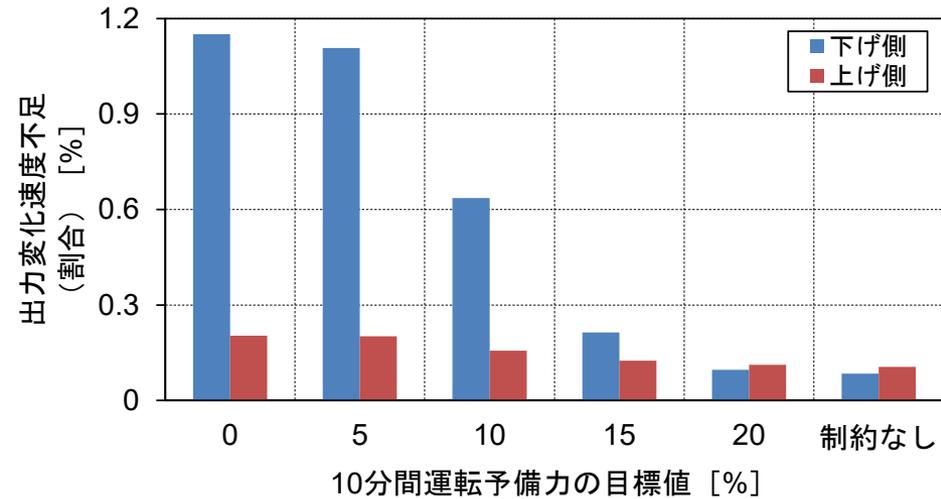
※上げ・下げ側の目標値とも同じ値

- 10分間運転予備力の目標値を増加させるにしたがって、周波数変動を抑制できる

10分間運転予備力毎の需給インバランスの原因



エリア1の上げ代・下げ代不足の割合



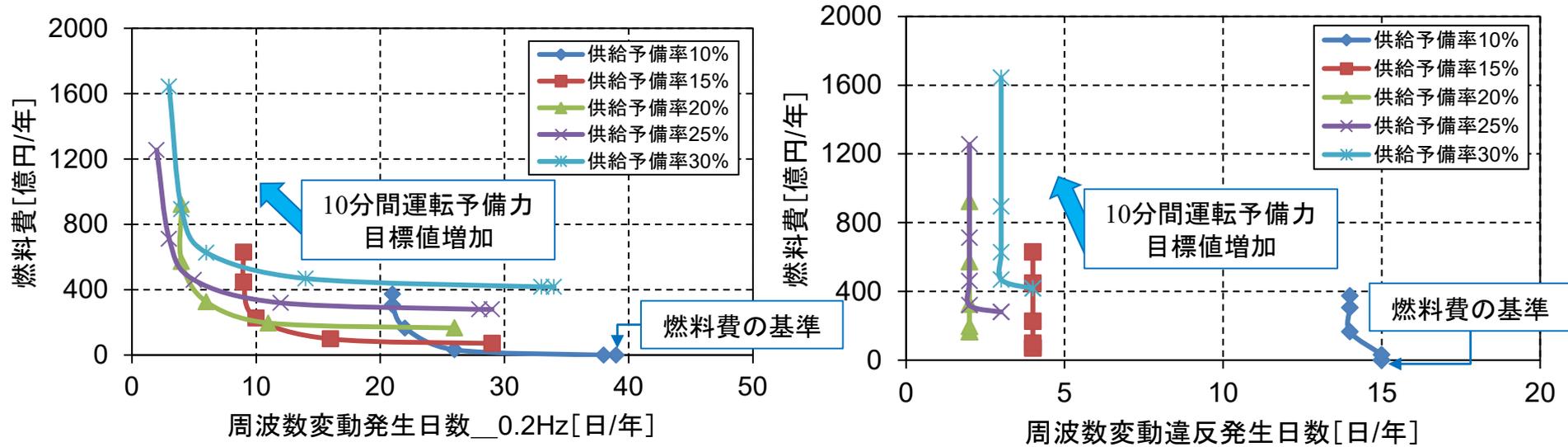
エリア1の出力変化速度不足の割合

※供給予備率20%

※上げ・下げ側の目標値とも同じ値

- 上げ代・下げ代不足については、起動している発電機のみで10分間運転予備力を確保する手法のため変化なし
- 出力変化速度不足については、10分間運転予備力の目標値を増加させるにしたがって、低減できる

供給予備力と運転予備力(周波数—燃料費)



「周波数変動発生日数__0.2Hz」—「燃料費」

「周波数変動違反発生日数」—「燃料費」

- 「周波数変動発生日数__0.2Hz」は供給予備力および10分間運転予備力を調整することで、燃料費とトレードオフであるが低減できる
- 「周波数変動違反発生日数」は10分間運転予備力の目標値の大小にはあまり影響を受けず、供給予備力によって決まると言える

シミュレーションのまとめ

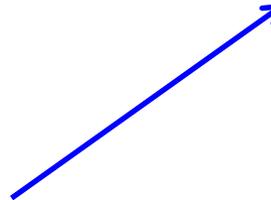
- 発電機起動・停止計画および発電機出力配分を模擬した上で、10分毎の周波数変動を算出する需給制御モデルを構築
- シミュレーション結果から抽出された上げ代・下げ代不足および出力変化速度不足に対して、供給予備力および10分間運転予備力を確保する対策手法を検討
 - 供給予備力および10分間運転予備力を適切に確保することで、燃料費と引き換えに周波数変動を低減できる可能性があることを示した

GF領域まで考慮した周波数解析の例

解析ケース(系統規模18GW)

	case 1	case 2	case 3
PV導入量	-	2.1GW	6.5GW
WT導入量	-	0.28GW	0.28GW

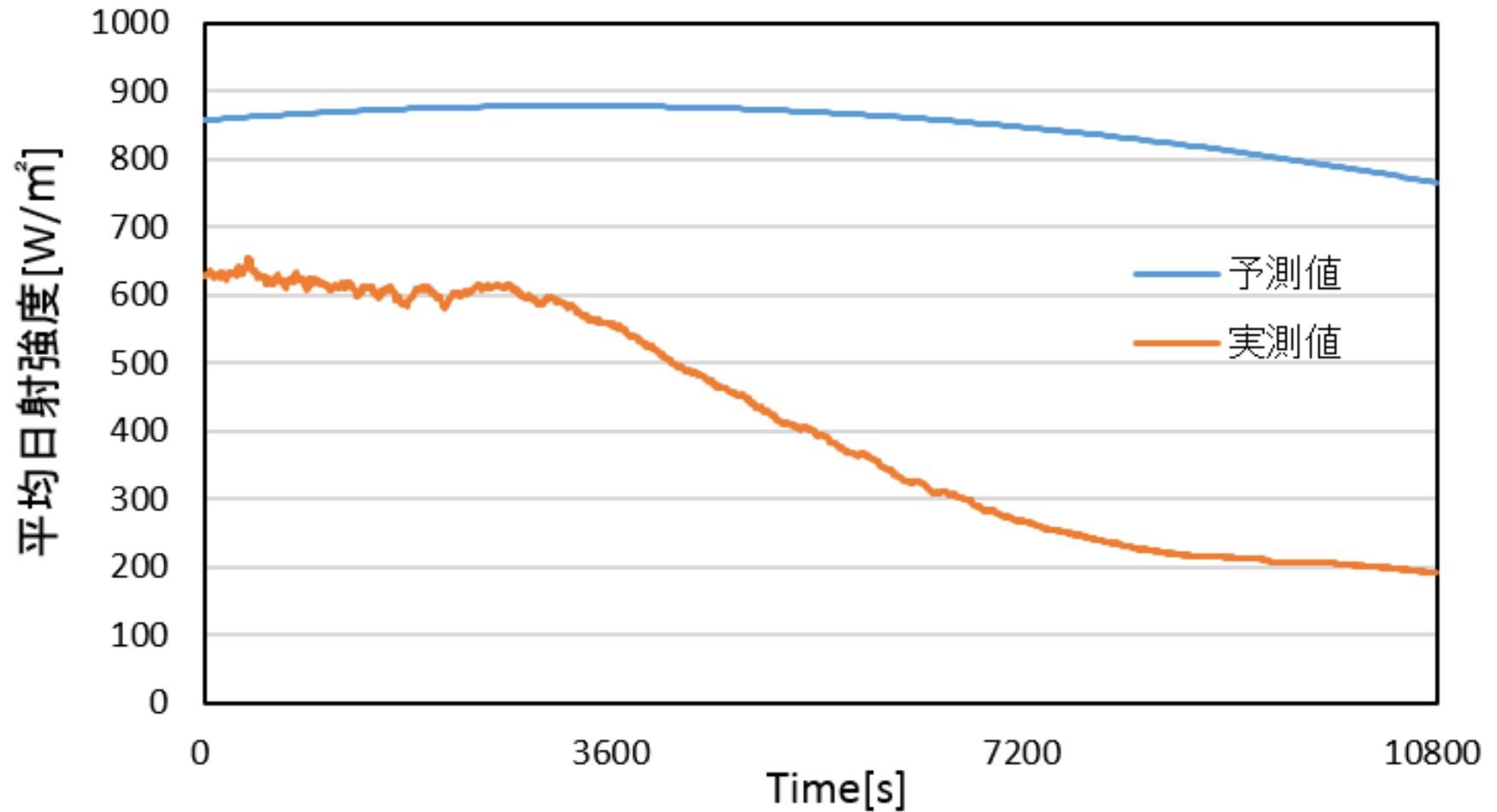
現状程度の比率を想定



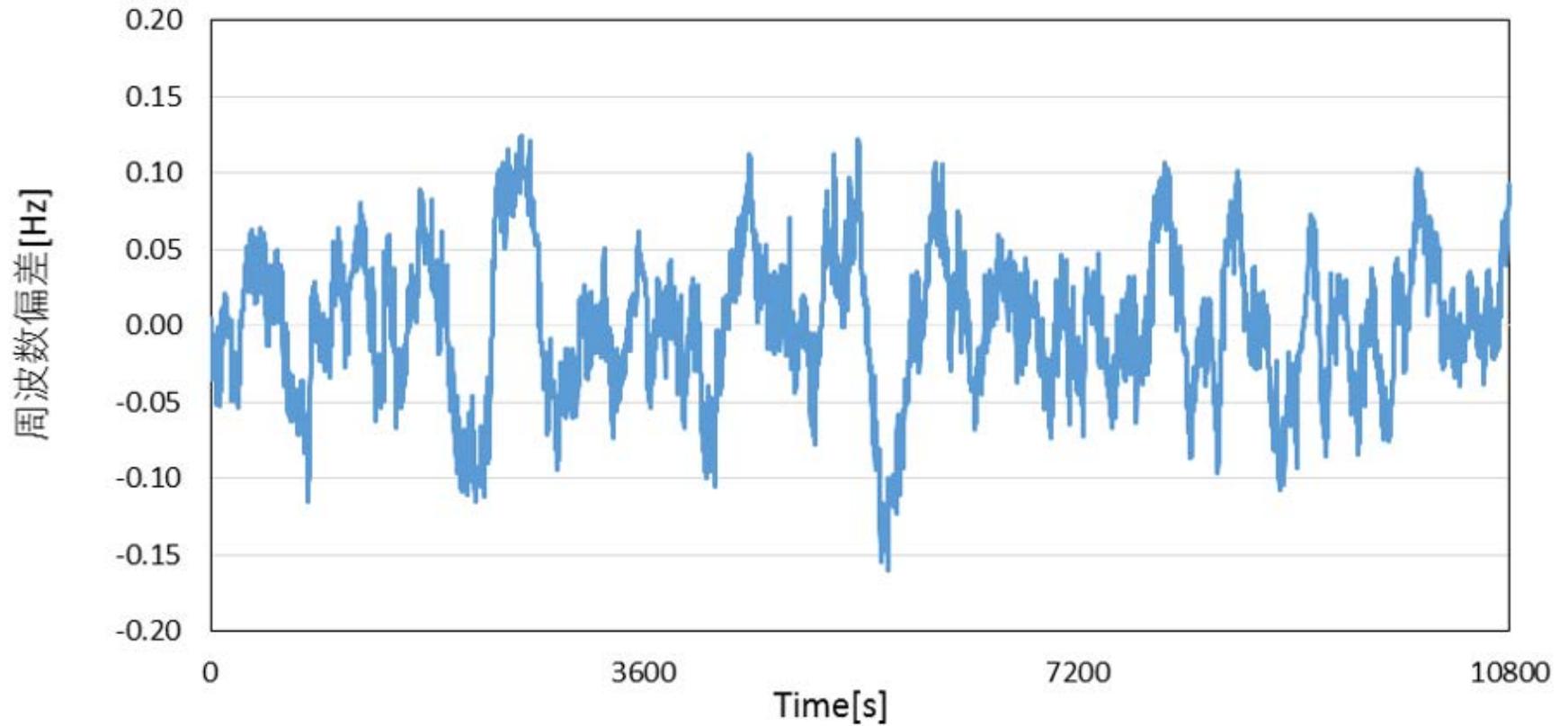
2030年予測程度の比率を想定



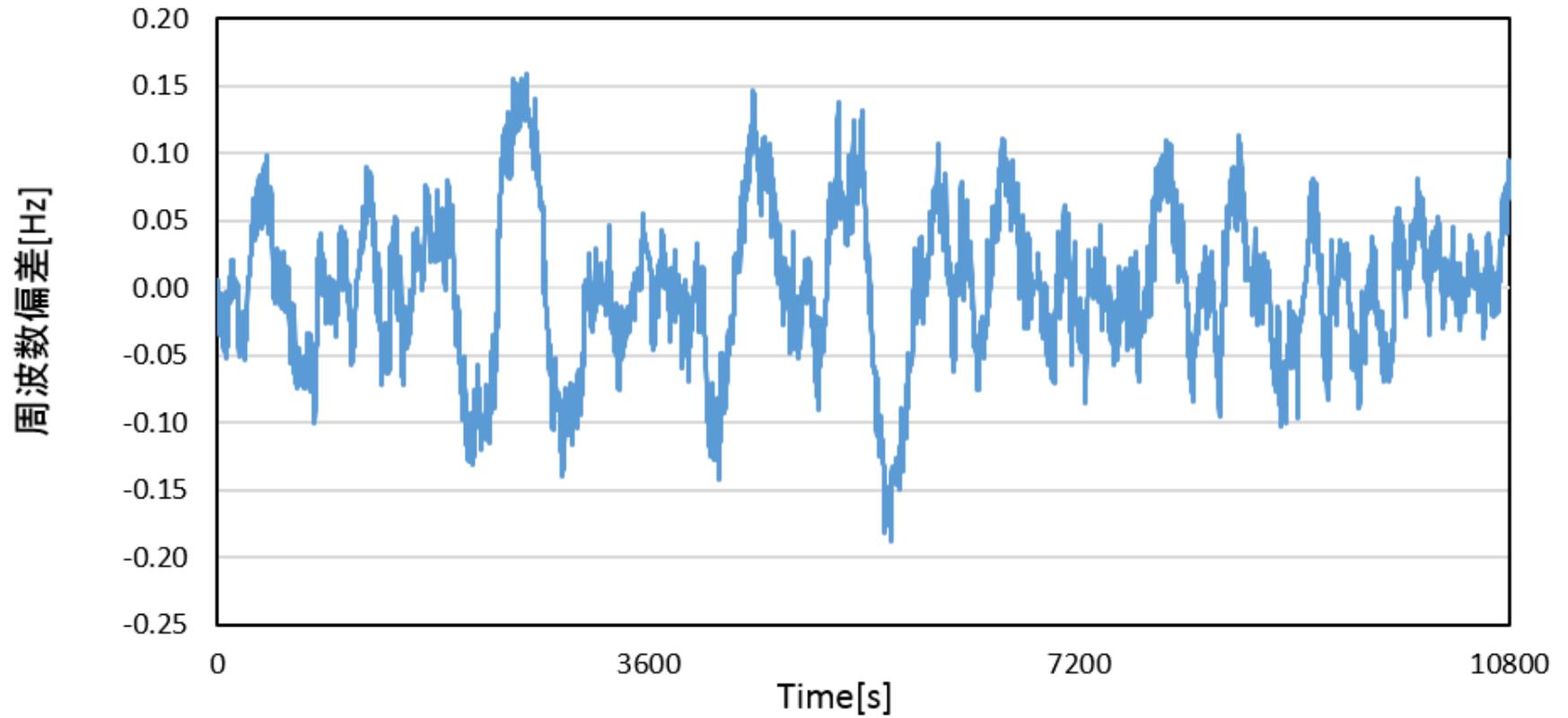
日射強度の変動(ランプダウンケース)



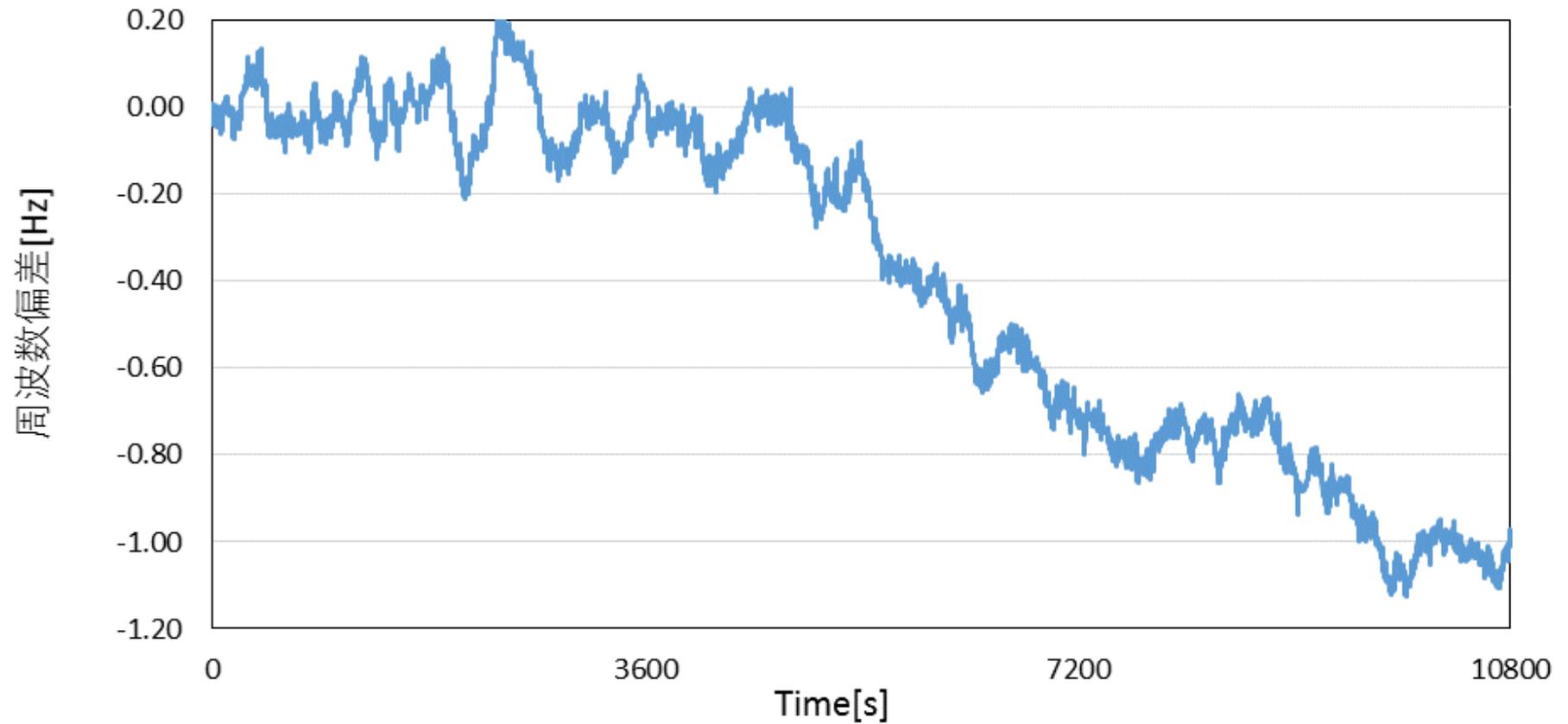
case 1の周波数変動



case 2の周波数変動



case 3の周波数変動

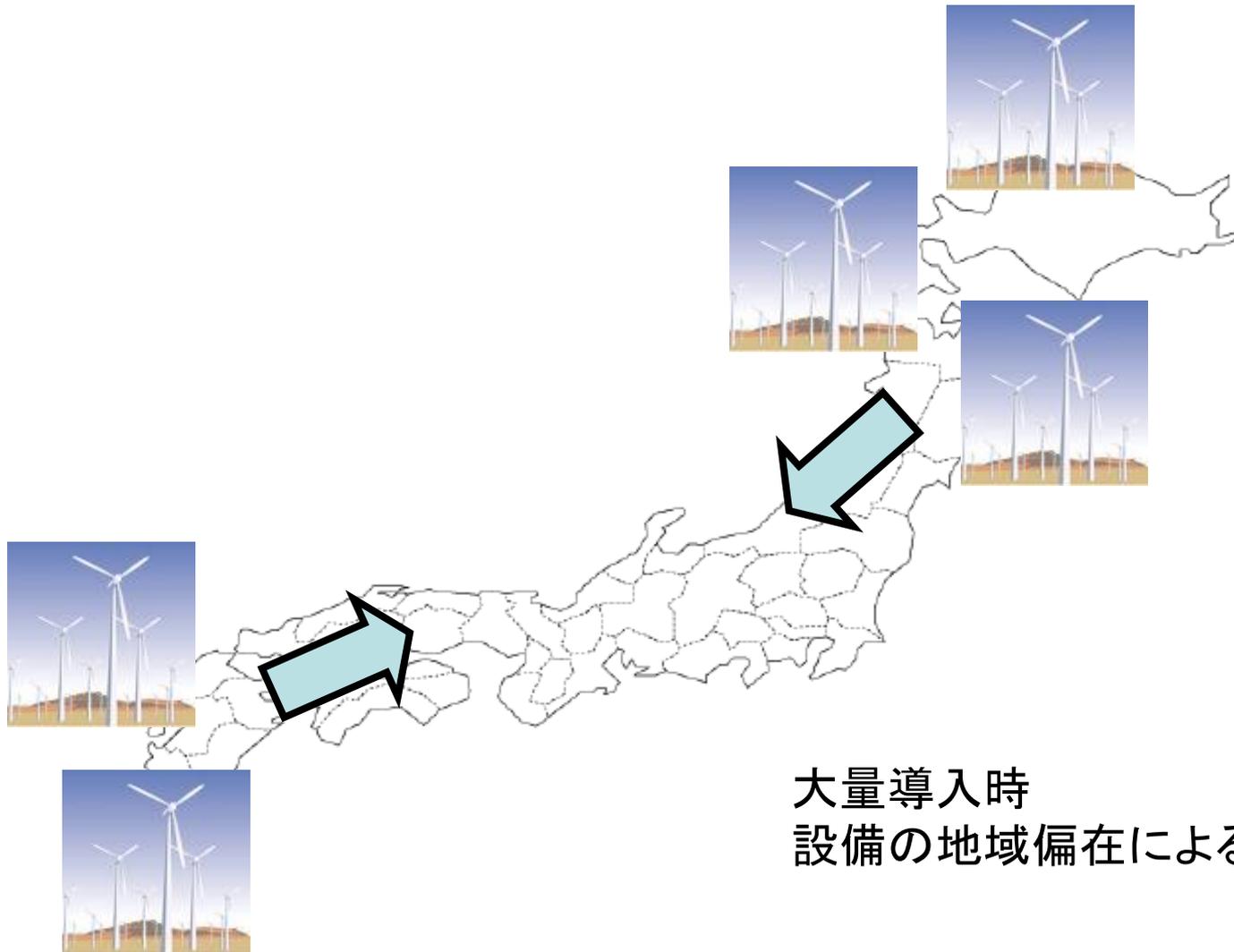


今後のさらなる接続可能量増加のために

- ・必要な**調整力**の量とその確保
- ・天候の**予測精度向上**と予測の活用方法の高度化
- ・通信を利用した**PV出力抑制**のさらなる活用
- ・デマンドレスポンスなどの確実な活用方法の開発

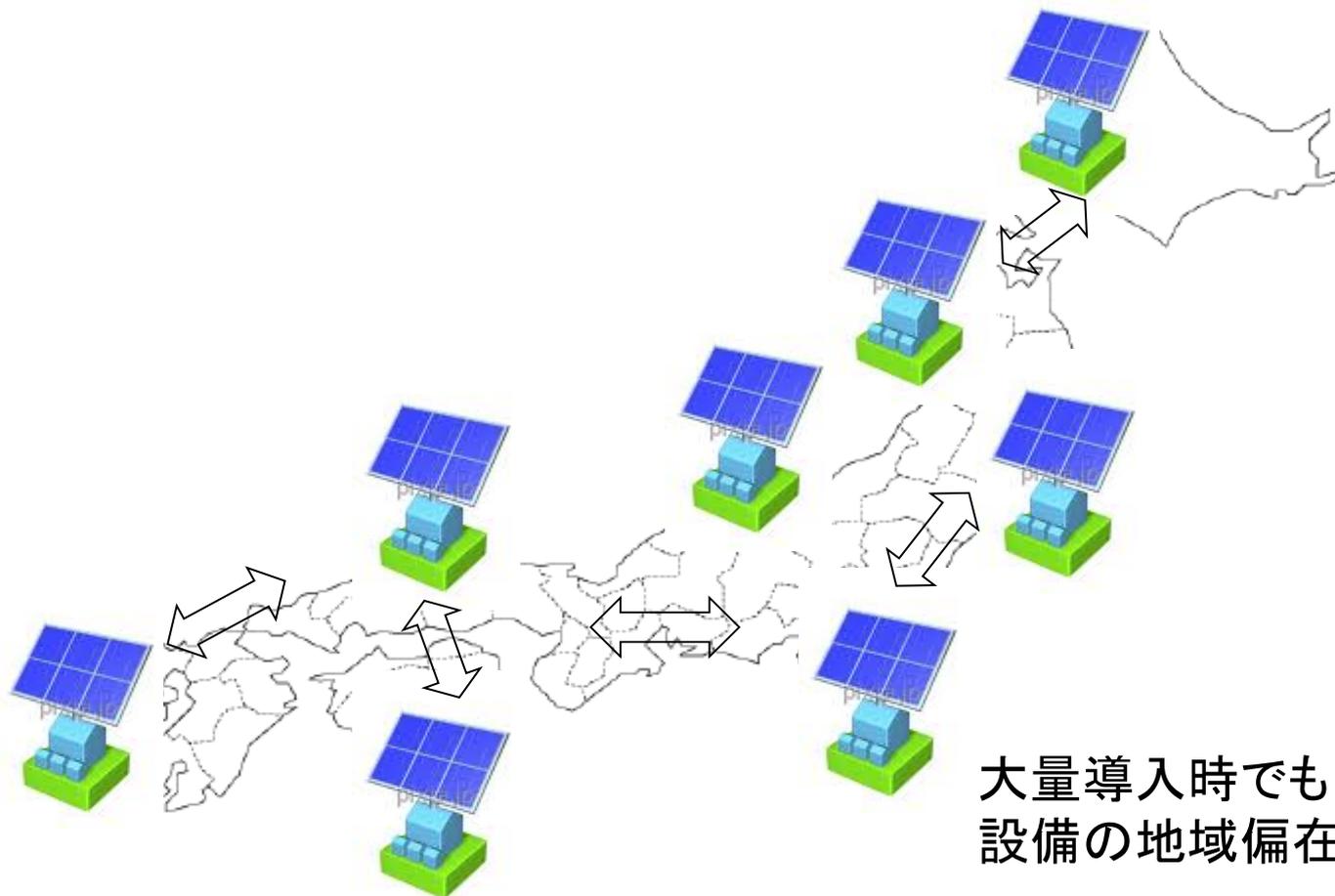
新エネ発電の地域偏在と連系線

風力

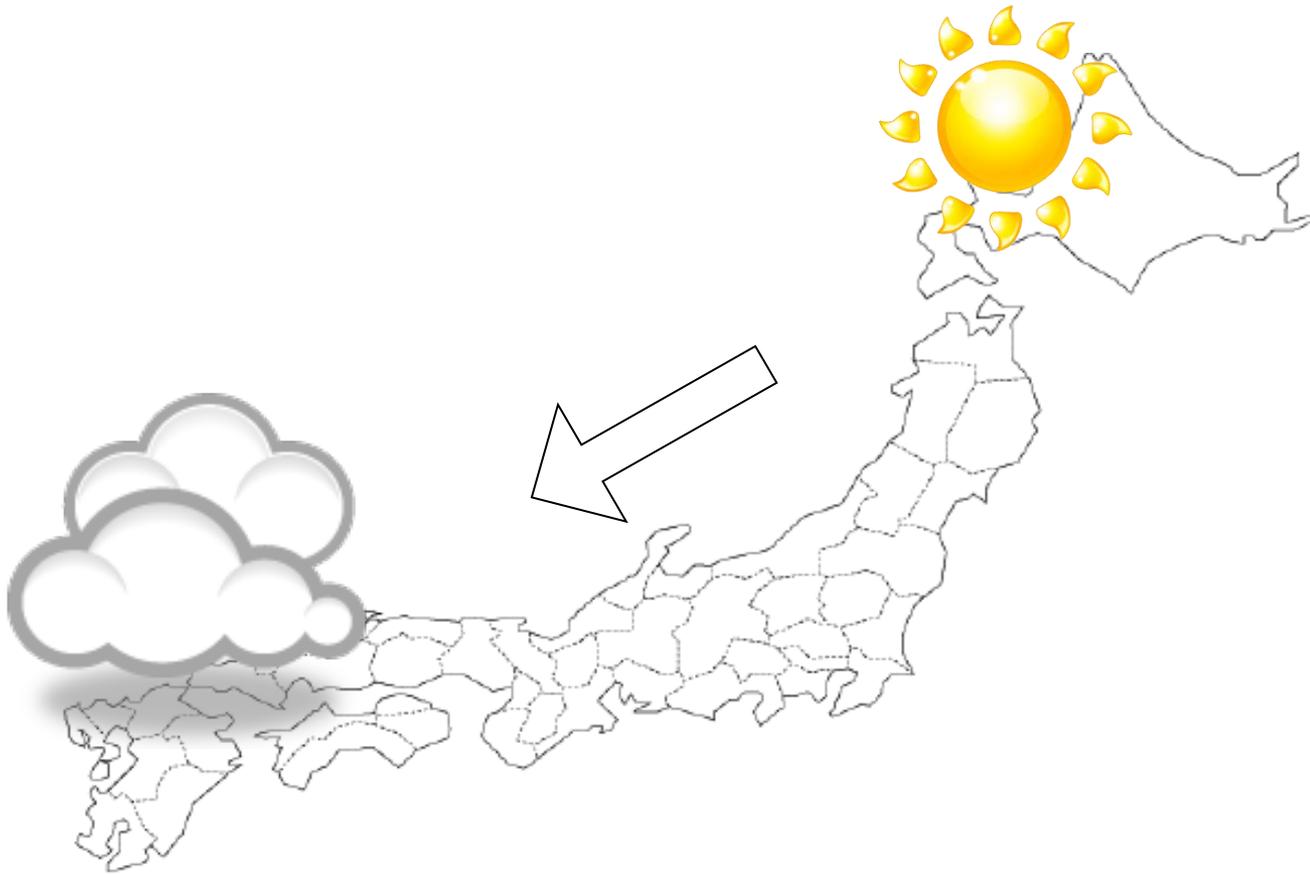


大量導入時
設備の地域偏在による連系線潮流

太陽光



大量導入時でも
設備の地域偏在はあまりない



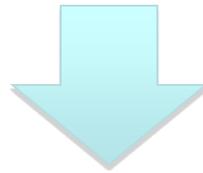
晴れの地域から曇り・雨の地域への潮流？

託送費の負担



風力による連系線潮流：特定電源？

太陽光による連系線潮流：不特定電源？



連系線増強と利用法は？

CEEシンポジウム これからの電力需給の解析・評価を考える

再生可能エネルギーと電力ネットワーク

2016. 8. 9

横浜国立大学大学院工学研究院
大山 力